

## Литература

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учебное пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2014. – 360с.
2. Харламов С.Н. Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Конспект лекции, 2015.
3. Запорожец Е.П., Зазарченко Е.И. Математическое моделирование регулярных сбора, подготовки и переработки нефтяных и природных газов: учебное пособие для студентов.- Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2012. – 142 с.

### СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛИ ИЗ ПРЕЦИЗИОННОГО СПЛАВА С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ УПРУГОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АРГОННО-ДУГОВОЙ И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СВАРОК

**А. О. Мартынюк**

Научный руководитель, старший преподаватель В. А. Рудаченко

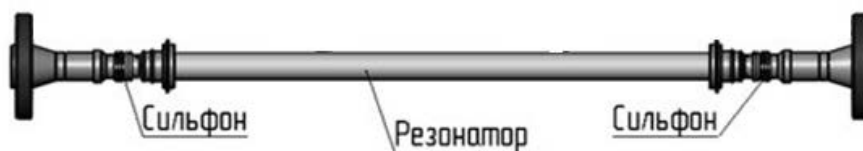
*Национальный исследовательский томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Работа посвящена определению наиболее оптимального способа соединения чувствительного элемента вибрационного преобразователя вязкости и плотности. В ходе работ были определены два основных вида соединения, выполненные высокотехнологичной сваркой: аргонно-дуговая неплавящим электродом с присадкой, электронно-лучевая в вакууме. Применение данных видов соединения было использованием изделия при высоких давлениях и необходимостью обеспечения высокого коэффициента запаса прочности.

В данной статье представлены данные о результатах выполненных соединений с применением высокотехнологичной сварки.

Ключевые слова: резонатор, аргонно-дуговая сварка, электронно-лучевая сварка, пайка, 36НХТЮ.

По результатам разработки и изготовления опытного образца поточного преобразователя плотности и вязкости, и как следствие создание ключевого элемента - резонатора, который является основным во всей конструкции, была применена трубка цилиндрического сечения. Изготовлена трубка из прецизионного сплава марки 36НХТЮ с заданными параметрами упругости. Диаметр трубки составил 25 мм, а толщина стенки 1 мм. По средством сварки, резонатор соединяется с другими упругими элементами изделия. Через сильфоны, изготовленные из стали 38-6-0,21х6 ГОСТ 55019-2015, трубка соединяется с переходными втулками и опорными кольцами [1, 2, 3], которые изготовлены из стали 12Х18Н10Т. Общий вид конструкции преобразователя плотности представлен на рис. 1.



**Рис. 1. Резонансная система**

Учитывая специфические свойства материала 36НХТЮ, конструктивные параметры трубки (тонкая толщина стенок), а также факт соединения деталей, изготовленных из сильно отличающихся между собой по свойствам материалов, серьезной задачей является определение оптимальной технологии сварки.

Для подтверждения химического состава сплава трубки из прецизионной стали 36НХТЮ был проведен ее химический лабораторный анализ. Результаты представлены в табл.1.

**Таблица 1**

**Химический состав сплава 36НХТЮ**

Марка сплава	Химический состав, %													
	Fe	Ni	Cr	Ti	Al	C	Si	Mn	Mo	S	P	Co	Cu	V
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
36НХТЮ (данные лаборатории НИ ТПУ)	45,08	35	12,4	2,3	1,19	0,1	0,91	1,7	0,16	0	0	0,4	0,22	0,32
36НХТЮ (Сертификат завода)	45,93	36,08	12,53	2,74	1,14	0,03	0,46	1,07	0	0,01	0,013	0	0	0

Процесс опробования установил, что сплав марки 36НХТЮ, в независимости от вида присадок, имеет склонность к активному образованию трещин в теле трубы вдоль зоны сварного шва. Это говорит о

необходимости наличия высокой квалификации у исполнителя и его практических навыков для получения положительного результата при проведении сварных работ.

Для всех вариантов сварных соединений были проведены металлографические исследования и испытания на прочность и герметичность, которые проводились при давлении 9,5 МПа с выдержкой в 24 часа. По итогам испытаний падение давления, протечек, отпотеваний и разрушении образца не выявлено. Детали режимов сварки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Детали режимов сварки

	Аргонно-дуговая сварка	Электронно-лучевая сварка
1	2	3
Сила тока сварки, А	55	$3 \cdot 10^{-2}$
Напряжение, В	12	-
Ускоряющее напряжение, кВ	-	28
Диаметр присадочной проволоки, мм	2	-
Диаметр луча, мкм	-	250
Скорость сварки, см/мин	28	60
Защитный газ, л/мин	10	-
Остаточное давление, Па	-	$10^{-4}$

Общий вид соединений, полученный в результате их микрофотографирования микроскопом, обоих видов сварки, показан на рис. 2.

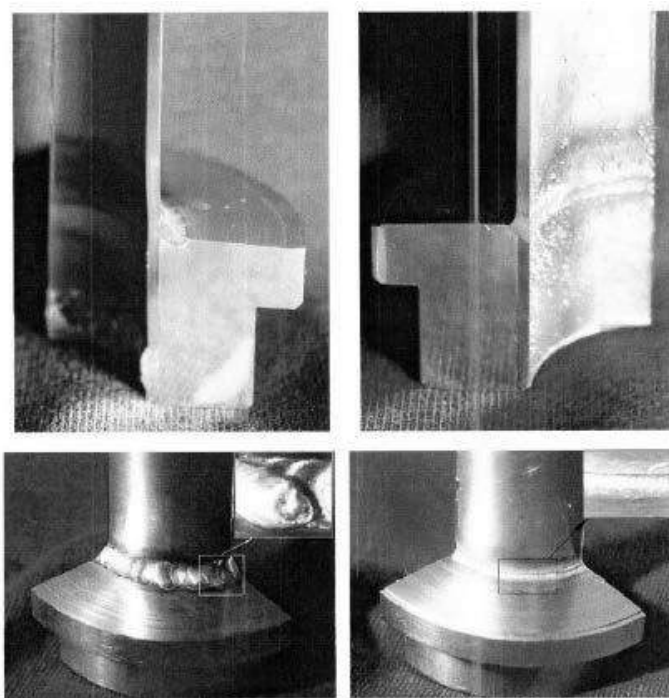
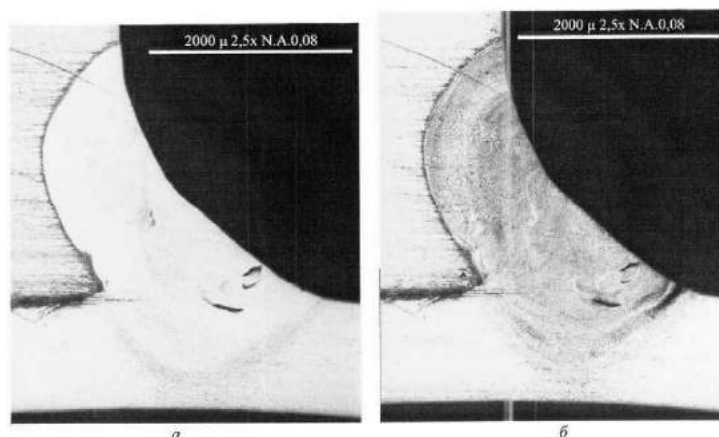


Рис. 2. Внешний вид образцов металлографического анализа:  
а – образец, сваренный аргонно-дуговой сваркой;  
б – образец, сваренный электронно-лучевой сваркой

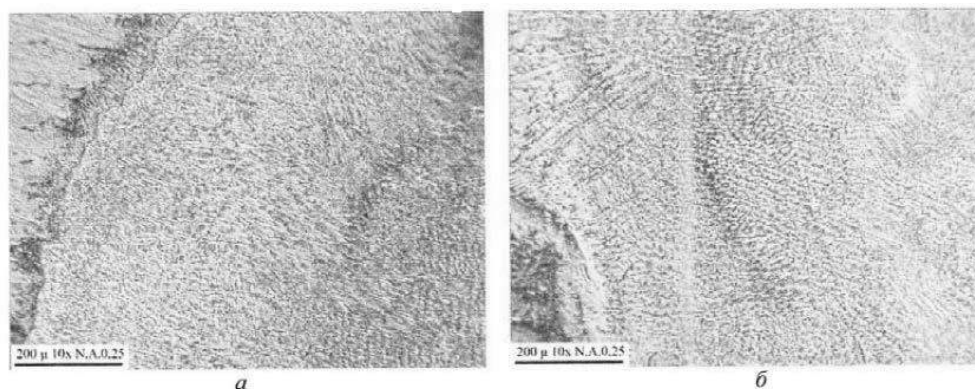
На изображении хорошо видно, что при электронно-лучевой сварке формируется шов с равномерной чешуйчатостью. Расстояние между краями отдельных чешуек составило примерно 0,2 мм. С другой стороны, при аргонно-дуговой сварке формируется более глубокая чешуйчатость с расстоянием отдельных чешуек между краями около 1,5-2 мм.

При аргонно-дуговой сварке было проведено травление в реактиве Марбле, а также электролитическое травление (рис. 3). В обоих случаях отмечается слабая травимость металла. Это связано с низким содержанием  $\alpha$ -фазы или  $\delta$ -феррита, что, в свою очередь, обуславливается высокой скоростью кристаллизации. При всем при этом, в металле шва произошло формирование дендритного строения. Образованные дендриты обладают

игольчатой формой (рис. 4). Их плоскость совпадает с плоскостью шлифа, а протяженность достигает 150-300 мкм.



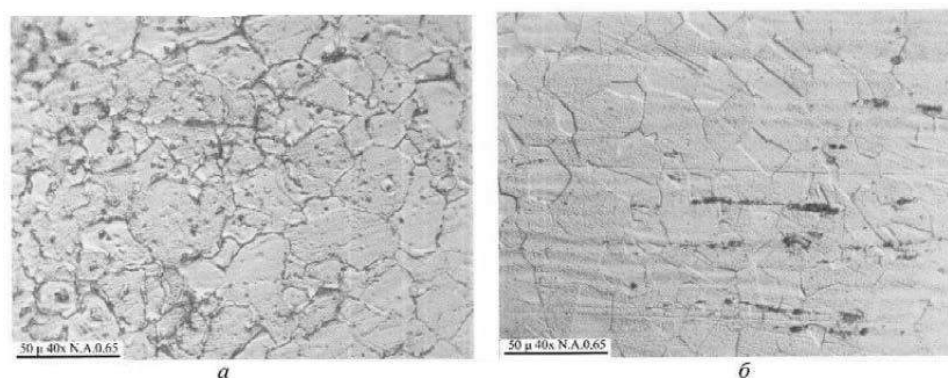
**Рис. 3. Шов, выполненный аргоно-дуговой сваркой:**  
**а – после травления в реактиве Марбле;**  
**б – после электролитического травления в растворе щавелевой кислоты**



**Рис. 4. Дендритное строение, сформированное в шве при аргоно-дуговой сварке:**  
**а – при травлении в реактиве Марбле;**  
**б – при электролитическом травлении в растворе щавелевой кислоты**

С обратной стороны шва наблюдался разветвленный трещиноподобный дефект протяженностью 180 мкм, что, предположительно, является окисной пленкой.

При электролитическом травлении повышенному воздействию подвергается граница сплавления, примыкающая к резонатору (трубке сплава 36НХТЮ), где присутствуют не подверженные травлению дендриты. В месте перекрытия чешуек шва присутствуют участки с повышенной травимостью в реактиве Марбле. Зона термического влияния (ЗТВ) на 36НХТЮ характеризуется формированием зерен до 90 мкм, по границам которых и в теле выделяется темно-травленная  $\alpha$ -фаза (рис. 5).



**Рис. 5. Сплав трубы 36НХТЮ:**  
**а – ЗТВ, сформированная при аргоно-дуговой сварке;**  
**б – основной металл трубы (сплав 36НХТЮ)**

При использовании электронно-лучевой сварки был выявлен ряд проблем:

- 1) Трубка проплавлялась насквозь;
- 2) В части, не примыкающей к втулке, наблюдалось формирование области с пониженным теплопроводом и формированием  $\delta$ -феррита, что препятствовало росту дендритов аустенита. В этой части шва размер дендритов не превышал 200 мкм (рис. 6а и рис. 7а);
- 3) Со стороны втулки же количество  $\delta$ -феррита уменьшалось, во время увеличения длины дендритов аустенита, что объясняется большим теплопроводом (рис. 6б и рис. 7б). Длина дендритов здесь достигала 850 мкм.

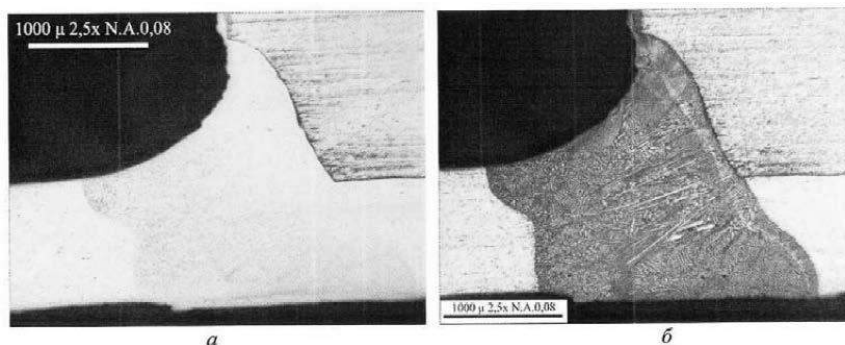


Рис. 6. Шов, выполненный сваркой электронным лучом:

а – после травления в реактиве Марбле;

б – после электролитического травления в растворе щавелевой кислоты

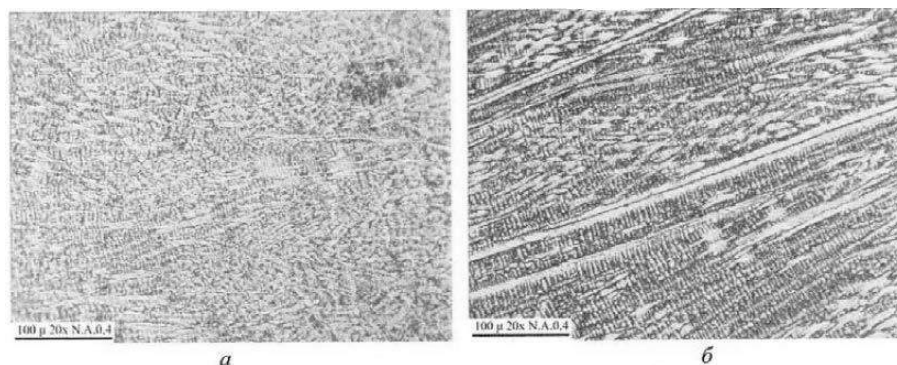


Рис. 7. Дендритная структура шва, выполненного сваркой электронным лучом:

а) область шва, расположенная со стороны противоположной втулки;

б) область шва, расположенная со стороны втулки

Стоит отметить, что после применения электронно-лучевой сварки ЗТВ, в резонаторе практически отсутствует с обеих сторон от шва. По границам сплавления со сталью наблюдается небольшое выделение  $\alpha$ -фазы. Изменение структуры в стали происходит, но только в виде потемнения на глубину до 1 мм от граница сплавления, после травления в реактиве Марбле. Это, как и в аргоно-дуговой сварке, могло быть вызвано незначительным повышением дефектности аустенита и дисперсным выделением  $\alpha$ -фазы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

При аргонодуговой сварке формируется шов с относительно мелкозернистой структурой. В самом металле шва образовались дефекты в виде окисных пленок и участков коррозионной стойкости. Однако, при этом трубка не проплавлялась насквозь.

Шов, полученный в результате применения электронно-лучевой сварки, характеризуется формированием равномерной мелкой чешуйки. При этом обеспечивается сквозное проплавление трубки. Практически отсутствует, при данном виде сварки, зона термического влияния. Не обнаружено несплошностей до и после травления. Также стоит отметить, что характерной особенностью структуры при электронно-лучевой сварке является формирование протяженных дендритов в металле шва.

#### Литература

1. Жуков Ю. П. Вибрационные плотномеры. – М.: Энергоавтомиздат, 1991. – 144 с.
2. Каховский Н.И. Электродуговая сварка сталей. – Справочник. – Киев. – «Наукова думка», 1975. – 480 с.
3. Квилис С. С. Плотномеры. М.: Энергия, 1980. – 278 с.

4. ГОСТ 55019-2012 Арматура трубопроводная. Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия.
5. РД 24.949.04-90 Сварка электронно-лучевая изделий тяжелого машиностроения. Технические требования.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ ТЕЧЕЙ ПРОТОТИПОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕПОИСКОВОГО КОМПЛЕКСА

В. Н. Марукян, В. А. Фаерман

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В последнее время в сфере эксплуатации и обслуживания трубопроводных систем находят применение всё более разнообразные средства контроля и диагностики линейной части трубопроводов, позволяющих определить наличие и местоположение утечек и врезок [1].

Значимыми критериями, по которым может осуществляться оценка эффективности тех или иных средств обнаружения утечек и врезок, являются точность локации и протяженность контролируемого участка трубопровода [1]. При этом зачастую оценка этих параметров, особенно средствами неразрушающего контроля, не регламентируется на государственном уровне.

Данная ситуация наблюдается, в частности, с корреляционно-акустическими течепоисковыми комплексами. Принцип действия данных систем заключается в одновременном получении виброакустических сигналов с двух концов линейного участка трубопровода и их последующей обработки с целью обнаружения в смеси акустического сигнала, производимого истекающей жидкостью, и определения местоположения его источника [2]. В соответствии с действующим законодательством, подобные системы не являются средствами измерения и не имеют нормированных метрологических характеристик.

Корреляционно-акустический течепоисковый комплекс, в общем случае, имеет следующий состав: два датчика вибрации, блок обработки сигналов и устройства необходимые для обеспечения связи между блоком обработки сигналов и датчиками. В качестве блока обработки сигналов нередко используется портативный компьютер в специальном защищенном исполнении, с предустановленным специализированным программным обеспечением. Передача сигналов от датчиков к блоку обработки сигналов может осуществляться как в аналоговом виде, так и в цифровом [3], непосредственно по соединительным линиям или радиоканалу. Состав комплекса и схема обнаружения утечки с его помощью представлена на рисунке 1.

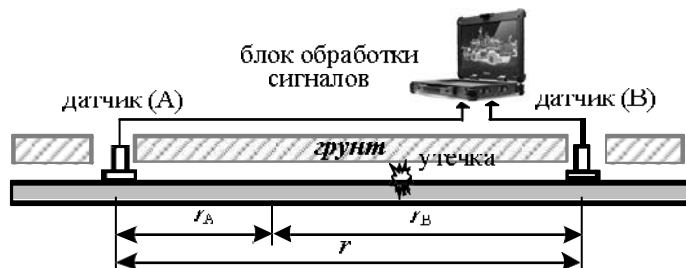


Рис. Схема обнаружения утечки корреляционно-акустическим методом

В связи с отсутствием общепринятой методики оценки характеристик течепоисковых комплексов, оценки точности, заявленные производителями тех или иных решений, представленных на рынке, зачастую не являются сопоставимыми. Тем не менее, в интересах потребителя, может производиться добровольная сертификация течеискателей в соответствии с техническими условиями, регламентирующими, в том числе требования к характеристикам и порядок их оценки [4]. Однако, даже в последнем случае, методика оценки не является в полной мере прозрачной, что делает актуальной задачу планирования эксперимента и разработки процедуры обработки данных, которые позволят адекватно и объективно оценить характеристики разрабатываемого в рамках инициативного проекта прототипа течепоискового комплекса.

Расстояние от любого из датчиков до утечки определяется [4]

$$r_{A,B} = \frac{r \pm \tau \cdot v}{2} \quad (1)$$

В соответствии с (1), точность определяется следующими факторами: точностью определения расстояния между датчиками ( $r$ ), точностью определения скорости ( $v$ ) распространения сигнала, а также точностью определения времени запаздывания ( $\tau$ ). Полагая расстояние между датчиками априорно известным, а погрешности при определении скорости распространения сигнала ( $\Delta v$ ) и времени запаздывания ( $\Delta \tau$ ) малыми по сравнению с их истинными значениями и дифференцируя (1) получим

$$\left| \Delta r_{A,B} \right| (\tau, v) = \frac{1}{2} \left| \Delta \tau \cdot v + \tau \cdot \Delta v \right|, \quad (2)$$

где  $\Delta r_{A,B}$  - погрешность при определении местоположения течи,  $\Delta \tau$  - абсолютное значение погрешности при определении времени запаздывания,  $\Delta v$  - погрешность при определении скорости распространения. В соответствии с (2) может производиться интервальная оценка точности определения  $\tau$ .